

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

AMANDA DE OLIVEIRA CAREAGA

VALIDAÇÃO DE DECAPANTE ALCALINO PARA USO EM
EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE DISPOSITIVOS DE PINTURA
AUTOMOTIVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

AMANDA DE OLIVEIRA CAREAGA

**VALIDAÇÃO DE DECAPANTE ALCALINO PARA USO EM
EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE DISPOSITIVOS DE PINTURA
AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do departamento de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fernandes

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

VALIDAÇÃO DE DECAPANTE ALCALINO PARA USO EM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE
DISPOSITIVOS DE PINTURA AUTOMOTIVA

Por

AMANDA DE OLIVEIRA CAREAGA

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 22 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Química. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Luciano Fernandes
Prof. Orientador

Juliana M T de Abreu Pietrobelli
Membro titular

Erica Roberta L R Watanabe
Membro titular

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o suporte nestes anos de graduação.

A meu orientador, pela parceria e compreensão.

A meus amigos pelas palavras de incentivo.

E a meus colegas de trabalho por todo ensinamento e auxílio nessa caminhada.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste projeto.

RESUMO

CAREAGA, Amanda O.; **Validação de decapante alcalino para uso em equipamento de limpeza de dispositivos de pintura automotiva.** 2018. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

O presente trabalho foi realizado no setor de pintura automotiva de uma montadora do estado de São Paulo. Para estabilizar e auxiliar na abertura de partes móveis da carroceria são utilizados dispositivos mecânicos, como estes acompanham a carroceria durante as etapas do processo de pintura, eles recebem camadas de tinta, que vão sendo acumuladas. Para evitar a geração de defeitos nas carrocerias pintadas devido a dispositivos com falhas por excesso de camada de tinta, estes precisam ser limpos regularmente. Este trabalho buscou validar um decapante alcalino para ser utilizado em um equipamento de limpeza desses dispositivos, para que a limpeza ao invés de ser realizada externamente por uma empresa contratada passasse a ser realizada internamente no setor de pintura. Para validar o decapante foi necessário atestar que o mesmo não causava interferências no processo na cabine de pintura, atendia a necessidade de limpeza do processo de pintura sem causar danos aos dispositivos e que não havia variações bruscas de concentração da solução decapante no decorrer dos ciclos de limpeza. Depois dos testes, o decapante foi aprovado para uso no equipamento.

Palavras-chave: Decapagem química. Dispositivos de pintura. Pintura automotiva.

ABSTRACT

CAREAGA, Amanda O.; **Validation of alkaline paint stripper for use in automotive paint device cleaning equipment.** 2018. 48 p. Final graduation project (Bachelor of Chemical Engineering) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2018.

The present project was carried out in the automotive painting sector of a car assembly industry in the state of São Paulo. In order to stabilize and assist in the opening of the body moving parts, mechanical devices are used, as these accompany the body during the painting process stages, they receive layers of paint, which are accumulated. To avoid the generation of defects on painted bodies due to faulty devices by excess paint layer, they need to be cleaned regularly. This work sought to validate an alkaline paint stripper to be used in a cleaning equipment of these devices, so this cleaning instead of being carried out externally by a contracted company would be carried out internally in the painting sector. In order to validate the paint stripper it was necessary to certify that it did not interfere with the process in the paint booth, it attended the painting process cleaning needs without causing damage to the devices and that there were no abrupt changes in the concentration of the stripping solution in the course of the cleaning cycles. After the tests, the stripping was approved for use in the equipment.

Keywords: Chemical stripping. Painting devices. Automotive paint.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processo de pintura automotiva	12
Figura 2 - Relação cátodo versus ânodo no tanque de eletrodeposição.....	13
Figura 3 - Exemplos de dispositivos do processo de pintura.....	14
Figura 4 - Decapagem por jateamento	16
Figura 5 - Decapagem química	17
Figura 6 - Equipamento de limpeza de dispositivos	19
Figura 7 - Dispositivos 1D, 1T, 2D e 2T da esquerda para a direita.....	22
Figura 8 - Cesto carregado de dispositivos para decapagem	23
Figura 9 - Dispositivos de exposição intensificada à solução decapante	24
Figura 10 - Áreas de medição de camada nos dispositivos	25
Figura 11 - Medição espessura de camada na parte externa em dispositivo 1D	26
Figura 12 - Dispositivos com limpeza incompleta.....	32
Figura 13 - Concentração em % de peso do produto decapante no banho	34
Figura 14 - Filmes de revestimento de tinta decapados	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de ciclo de operação do equipamento	21
Tabela 2 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 1 (Resumo) .	26
Tabela 3 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 2 (Resumo) .	27
Tabela 4 – Medição da camada zero	28
Tabela 5 – Medição da camada 1	29
Tabela 6 - Limpeza por camada de dispositivo do modelo 1	30
Tabela 7 – Limpeza por camada de dispositivo do modelo 2.....	31
Tabela 8 - Resultado da % de concentração das amostras	34
Tabela 9 - Quantidade de dispositivos carregados em cada ciclo de limpeza	42
Tabela 10 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 1 (Completo)	44
Tabela 11 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 2 – (Completo).....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	10
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
2.1 O PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA.....	11
2.2 DISPOSITIVOS DO PROCESSO DE PINTURA	14
2.3 REMOÇÃO DE REVESTIMENTO DE TINTA	15
2.3.1 Decapagem.....	15
2.3.1.1 Decapagem química	16
3 DESENVOLVIMENTO	19
3.1 O EQUIPAMENTO.....	19
3.2 PARÂMETROS DE DOSAGEM E OPERAÇÃO	20
3.3 ESCOLHA DOS DISPOSITIVOS PARA TESTE.....	21
3.4 TESTES PARA VALIDAÇÃO.....	22
3.4.1 Teste de Cratera	23
3.4.2 Exposição Intensificada ao Decapante	24
3.4.3 Decapagem por Espessura de Camada	24
3.4.3.1 Decapagem por número de camadas de revestimento no dispositivo	28
3.4.4 Monitoramento da Concentração do Banho	32
3.4.4.1 Cálculo da concentração das amostras	33
4 DISCUSSÕES	36
5 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICE A	42
APÊNDICE B	44

1 INTRODUÇÃO

Os principais objetivos do processo de pintura são o fornecimento de uma aparência atraente e proteção à corrosão ao veículo, para tal a carroceria é submetida aos subprocessos de pré-tratamento, eletrodeposição, vedação, lixamento, cabine de pintura, inspeção, reparo e finalização antes de ser encaminhada ao setor de montagem.

Para movimentação nos processos no setor de pintura, as partes móveis da carroceria, portas, capô e porta-malas, precisam estar fixadas, para isso são utilizados dispositivos mecânicos, chamados na empresa de *stays*. Esses dispositivos servem para fixar a parte móvel em relação ao corpo da carroceria, mas também para auxiliar na abertura dos mesmos tanto por colaboradores como por robôs durante todo o processo.

Os *stays* são submetidos aos mesmos processos da carroceria, recebendo assim camadas de revestimento de tinta. Conforme o dispositivo é reinserido no processo, ele recebe novas aplicações e novas camadas vão sendo acumuladas. Esse acúmulo de tinta pode comprometer o funcionamento dos dispositivos, causando a geração de defeitos na pintura, como escorridos, acúmulo de sujeira, contaminações e até possíveis amassados. Para evitar defeitos devido a este tipo de causa, é necessária a limpeza periódica dos dispositivos.

A remoção de camadas de tinta curada de superfícies metálicas é feita pelo processo de decapagem, podendo ser por métodos mecânicos, térmicos ou químicos. Os métodos químicos são mais utilizados para limpeza em larga escala devido à facilidade de aplicação e maiores vantagens econômicas. A decapagem química remove as camadas de tinta atuando no enfraquecimento da ligação entre o substrato e o revestimento, o processo pode ocorrer por *spray* ou imersão, com temperatura de funcionamento a frio ou a quente, e o decapante utilizado pode ter composição alcalina, ácida ou a base de solventes.

Na indústria na qual o estudo foi realizado, os dispositivos são lavados externamente em uma empresa contratada. Com o intuito de realizar esta limpeza internamente, foi realizada pelo setor a aquisição de um equipamento para decapagem química destes dispositivos. Os responsáveis pelo projeto optaram por um equipamento com funcionamento a *spray* devido à maior possibilidade de

customização do processo e menor necessidade de volume de banho de solução decapante no equipamento. Quanto à composição do decapante, o alcalino dentro das opções disponíveis é considerado o menos agressivo ao equipamento, a saúde humana e ao meio ambiente.

O acúmulo de camadas de revestimento de tintas nos dispositivos pode levar a geração de defeitos na pintura da carroceria, gerando assim um retrabalho. Ao realizar a limpeza externa, o controle deste processo fica nas mãos da empresa contratada e em média os dispositivos enviados só retornam ao setor após dois dias. Para que o processo passe a ser realizado internamente, possibilitando um monitoramento e controle dessa limpeza e um retorno mais rápido do dispositivo para a linha de produção, já tendo sido realizada a aquisição do equipamento, é necessária a validação do produto decapante a ser utilizado. O presente trabalho, realizado no setor industrial de pintura de uma montadora automotiva no estado de São Paulo, busca fazer a validação do decapante alcalino obtido com um fornecedor parceiro para uso no equipamento adquirido.

Segundo a NBR ISO 9000, validação é a comprovação, através do fornecimento de evidência objetiva, de que os requisitos para uma aplicação ou uso específicos pretendidos foram atendidos. Os requisitos necessários para a validação neste caso foram definidos após consulta da literatura e em conjunto com o analista responsável pelo projeto de aquisição do equipamento e o responsável pela gestão dos dispositivos, sendo estes, que o decapante não gere interferência no processo na cabine de pintura, que a remoção do revestimento atenda as necessidades do processo de pintura e ocorra sem dano ao dispositivo e que sua concentração não sofra alterações bruscas conforme os ciclos de limpeza.

1.1 OBJETIVOS

O trabalho busca validar o decapante alcalino para uso no equipamento de limpeza de dispositivos de pintura, tendo como objetivos específicos:

- a) Verificar se o decapante gera interferências no processo de cabine de pintura;
- b) Avaliar se a remoção do revestimento atende a necessidade do processo de pintura e ocorre sem dano ao substrato;
- c) Avaliar a variação de concentração da solução decapante.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas as etapas do processo de pintura automotiva, a definição de dispositivos de utilizados no processo e os métodos para remoção de revestimento de tinta.

2.1 O PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA

As etapas produtivas para a manufatura de um carro são a estamparia, soldagem, pintura e montagem final (FATHIL, 2008). A estamparia recebe as bobinas de aço do fornecedor e as corta em chapas. Essas chapas são modeladas de acordo com o tipo de peça, em seguida essas peças são soldadas e assim a carroceria enviada ao setor de pintura. Após a pintura, o setor da montagem é responsável por montar na carroceria todas as partes necessárias para o funcionamento do automóvel.

A pintura é um importante e complexo processo na indústria automotiva, tendo como principais propósitos fornecer uma aparência atraente aos veículos e resistência contra corrosão (FATHIL, 2008). O processo de pintura envolve uma sequência de etapas, que estão descritas na Figura 1.

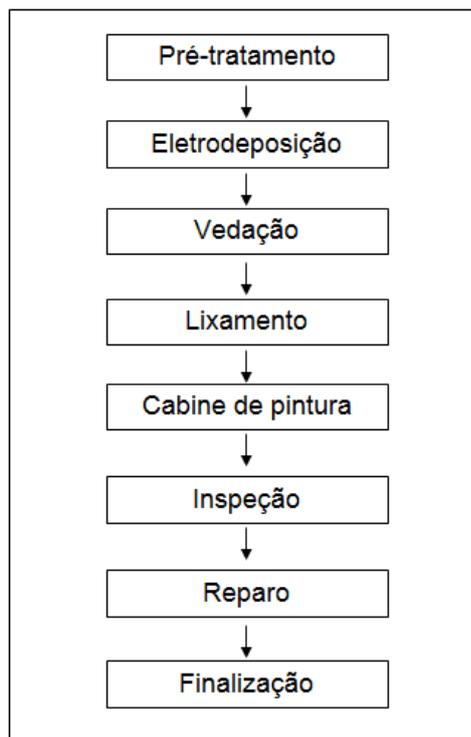


Figura 1 - Fluxograma do processo de pintura automotiva
Fonte: Autoria própria

Pré-tratamento é o termo usado para descrever o processo de limpeza e preparação da superfície. A carroceria chega ao setor de pintura com resíduos de óleos, selantes e sujidades dos processos anteriores, assim passa por tanques com água quente e produtos químicos desengraxantes que promovem a limpeza da carroceria, que em seguida recebe uma camada de fosfato e por último ocorre o enxágue com água deionizada para remoção de sais e subprodutos formados na fosfatização. A fosfatização é a etapa mais sensível e crítica do pré-tratamento, pois a qualidade desta cobertura vai determinar a resistência e adesão das seguintes coberturas. O substrato mais comum utilizado nas indústrias automotivas é uma solução aquosa de fosfato de zinco (FETTIS, 1995; TREVIZAN, 2013).

Na eletrodeposição a carroceria é submersa em um tanque com um banho composto por resina, pasta, aditivos e água, através do qual passa uma corrente elétrica contínua e por diferença de potenciais é formada uma camada de tinta uniforme sobre a camada de metal fosfatizado. O conceito básico de funcionamento desse processo é que cargas opostas se atraem, como mostra a Figura 2, sendo a carroceria conectada a um pólo e o outro pólo o próprio tanque de imersão ou então, eletrodos colocados em sua parede lateral. Essa camada fornece proteção adicional

à corrosão e melhora a adesão da camada de *primer*. Em seguida a carroceria segue para uma estufa para cura do material (PIEROZAN, 2001).

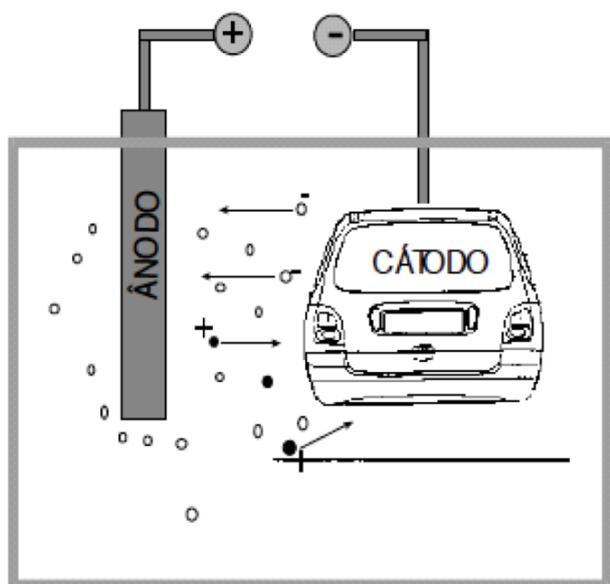


Figura 2 - Relação cátodo versus ânodo no tanque de eletrodeposição
Fonte: Drumond (2013)

Na próxima estação, ocorre a vedação, onde é aplicado selante, uma massa viscosa à base de PVC, nas junções de diferentes painéis, em flanges, contornos, acabamento de portas, tampa de capô e porta-malas, e também no assoalho. Este processo tem por objetivo prevenir infiltrações de água, poeira e outros possíveis contaminantes, redução de níveis de barulho e minimização de potencial de corrosão. Após a aplicação a carroceria passa por mais uma estufa para cura dos selantes aplicados e depois segue para uma estação de lixamento, onde é inspecionada e todos os defeitos encontrados são removidos através de lixamento e limpeza subsequente, de forma a não prejudicar as próximas etapas de aplicação de tinta (PIEROZAN, 2001).

Na cabine de pintura, a carroceria recebe três camadas de revestimento, uma de *primer*, seguida de uma de base e por último uma de verniz. A tinta primária, *primer*, é essencial para a durabilidade e aparência da pintura final. Sua função é suavizar as irregularidades da superfície, melhorar o desempenho de resistência a batidas de pedras, e ajuda a proteger o substrato contra a luz visível e ultravioleta. Sua coloração pode ser genérica, independente da cor final da carroceria, ou específica, onde a coloração é muito próxima da cor final da carroceria. A tinta base atribui à coloração final da superfície e a camada de verniz confere o brilho e

proteção final à pintura, essas duas camadas juntas tem a denominação de *top coat*. O *top coat* fornece a aparência final da carroceria e protege as camadas anteriores, oferecendo uma resistência à abrasão e à penetração de umidade. Como parte integrante da cabine de pintura, existem as estufas para cura após aplicação de *primer* e de *top coat* (PIEROZAN, 2001; DRUMOND, 2013).

Em seguida, a carroceria segue para inspeção final, onde todas as unidades pintadas são inspecionadas e caso seja encontrado algum defeito, ele é retrabalhado e a carroceria reinspecionada. Para finalização, antes do envio para a montagem, são retirados os dispositivos do processo de pintura, aplicado cera anticorrosiva na soleira e fita decorativa preta nas portas.

2.2 DISPOSITIVOS DO PROCESSO DE PINTURA

Dispositivos do processo de pintura são ferramentas mecânicas utilizadas para posicionar as partes móveis da carroceria, tais como portas, tampa de capô e porta-malas, durante o processo de pintura (BEE, 2015). Um modelo exemplificando o uso de dispositivos em uma carroceria pode ser visualizado na Figura 3.

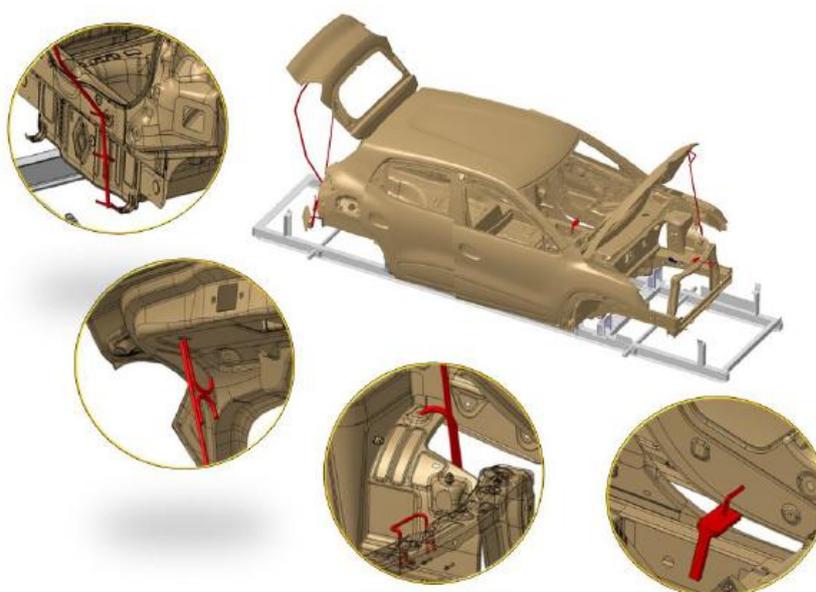


Figura 3 - Exemplos de dispositivos do processo de pintura
Fonte: Bee (2015)

O uso desses mecanismos se deve a necessidade de estabilização das partes móveis. Esses dispositivos são expostos aos mesmos processos que a carroceria, assim o acúmulo de tinta em sua estrutura pode comprometer seu funcionamento e resultar na geração de defeitos na pintura, sendo necessários reparos nas regiões afetadas (BEE, 2015).

2.3 REMOÇÃO DE REVESTIMENTO DE TINTA

O fator mais importante na remoção de sistemas de acabamento de tintas é a remoção completa sem danificar as superfícies nas quais elas são aplicadas. Portanto para escolher um material e um método, deve-se analisar seu poder de remoção, a proteção do equipamento e os riscos para meio ambiente e saúde humana (ZAROGIANNIS et al, 2007; USAF, 2008). A remoção das camadas de tintas é feita pelo processo de decapagem (SAFETY KLEEN).

2.3.1 Decapagem

A decapagem é toda ação utilizada em superfícies metálicas que busca a remoção de diferentes agentes, como oxidação, impurezas, crostas e outros elementos. Esse processo pode ser realizado de forma mecânica, química ou térmica (OLIVEIRA, 2017; DOMINGUES, 2015).

A decapagem mecânica envolve o uso de técnicas de impacto e abrasão. Um dos principais métodos utilizados é o jateamento, no qual material abrasivo é lançado à alta pressão de modo a que as superfícies metálicas sejam atingidas com intensidade, como mostra a Figura 4. Apesar de ser um processo simples, pode gerar micro-deformações na superfície do material e pode não apresentar bons resultados em peças de geometria complexa (SAFETY KLEEN; DOMINGUES, 2015; RPA, 2007).



Figura 4 - Decapagem por jateamento
Fonte: Safety Kleen

A decapagem térmica envolve a remoção da camada de revestimento pela introdução de calor, incluindo chamas abertas, fornos de alta temperatura, leitos fluidizados e banhos de sais fundidos. Em temperaturas de operação de até 425 ° C, a maioria dos revestimentos orgânicos é decomposta pelo calor em um tempo relativamente curto. A principal vantagem desse método é a agilidade e eficiência, principalmente em revestimentos resistentes ou acumulados, porém a utilização elevada de energia e os danos em alguns substratos representam desvantagens importantes (SAFETY KLEEN; ZAROGIANNIS et al, 2007).

Na decapagem química o efeito é remover a camada de tinta através da interação química (DOMINGUES, 2015).

Para trabalhos de manutenção em larga escala, os métodos químicos são preferidos aos mecânicos devido à facilidade de aplicação e maiores vantagens econômicas, além da tendência dos processos mecânicos de fechar rachaduras e outras falhas, potencialmente permitindo que um defeito crítico não seja detectado (SERDP, 2007).

2.3.1.1 Decapagem química

A decapagem química atua no enfraquecimento da ligação entre o revestimento e o substrato, podendo ocorrer por meio da dissolução da tinta para formar uma solução com o solvente, da destruição do filme de tinta por reação química com o solvente, e da penetração do decapante no filme de tinta destruindo a

sua adesão ao material de base (WOLLBRINCK, 1993). Na Figura 5, está uma representação do processo por penetração do decapante.

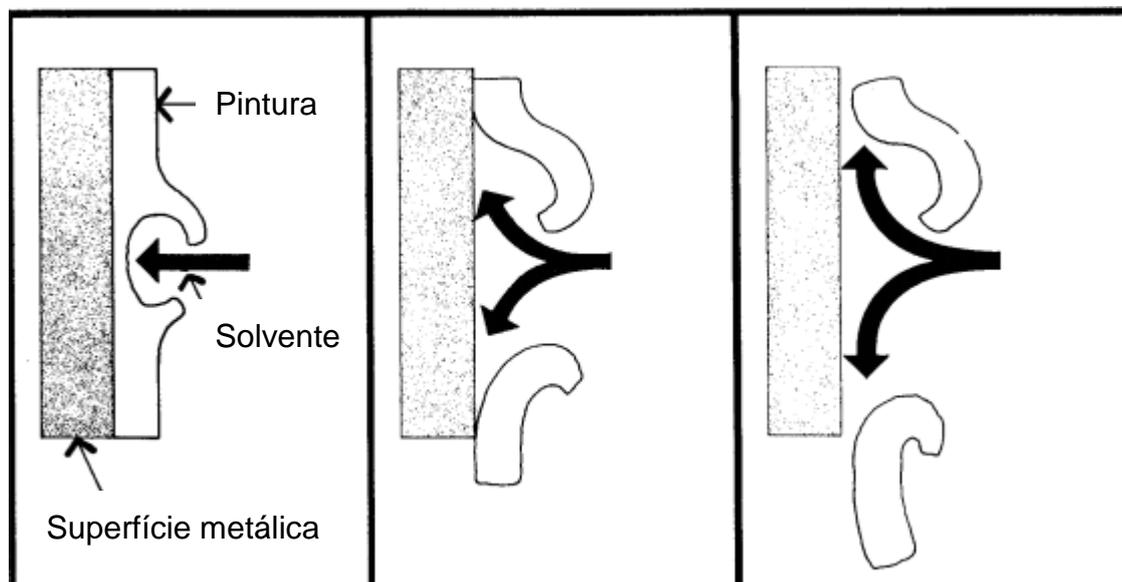


Figura 5 - Decapagem química
Fonte: Fremont's

As formulações químicas dos decapantes variam em complexidade, desde soluções de dois ingredientes até sistemas que empregam solventes primários, co-solventes, ativadores, espessantes, agentes umectantes, agentes quelantes, inibidores de corrosão, etc (WOLLBRINCK, 1993).

Em ambientes industriais, a maior parte da decapagem é realizada por imersão ou *spray* da peça de trabalho com o decapante químico. Em geral, o método de *spray* é usado principalmente quando a peça de trabalho é muito grande para imersão ou possui componentes sofisticados que podem ser danificados pelo contato prolongado com o solvente, e quando apenas um pequeno número de peças ou uma área específica da peça que precisa ser trabalhada (US EPA, 1996).

Os decapantes químicos podem ser classificados pela sua temperatura de funcionamento, quente ou a frio, e pela sua composição, como corrosivos (ácidos ou alcalinos), à base de solventes ou como combinações de produtos corrosivos e à base de solventes. Os decapantes corrosivos geralmente tendem a ser utilizados a temperaturas elevadas e os à base de solvente a temperatura ambiente. Os decapantes à base de solvente mais utilizados são formulados com diclorometano (CH_2Cl_2), *N*-metil-2-pirrolidona e ésteres dibásicos, nos alcalinos com hidróxido de

sódio (NaOH) ou potássio (KOH) e nos ácidos com soluções concentradas de ácidos sulfúrico (H₂SO₄), nítrico (HNO₃) e clorídrico (HCl) (ZAROGIANNIS et al, 2007).

Em geral, a limpeza com produtos corrosivos é mais ecológica do que a limpeza à base de solvente, pois as lamas e efluentes gerados por esta abordagem são considerados relativamente mais fáceis de gerir, porque geralmente há menos componentes tóxicos. Apesar de um pH ácido permitir a remoção de tinta mais rapidamente, eles são difíceis de trabalhar, pois atacam prontamente a maioria dos substratos, em particular a fragilização por hidrogênio, dos materiais como o aço, magnésio e titânio (ZAROGIANNIS et al, 2007; BAIÃO, 2016).

3 DESENVOLVIMENTO

O decapante analisado tem como principal componente o hidróxido de potássio (concentração de 30% a 40%, sendo o restante dos componentes não divulgados pelo fornecedor), sendo seu pH aproximadamente 12,5 na solução a 1%. Assim antes de entrar na metodologia do trabalho é necessário apresentar algumas informações importantes sobre funcionamento do equipamento e os itens de segurança necessários para o manuseio do equipamento e do decapante.

3.1 O EQUIPAMENTO

O desenho do equipamento encontra-se na Figura 6.

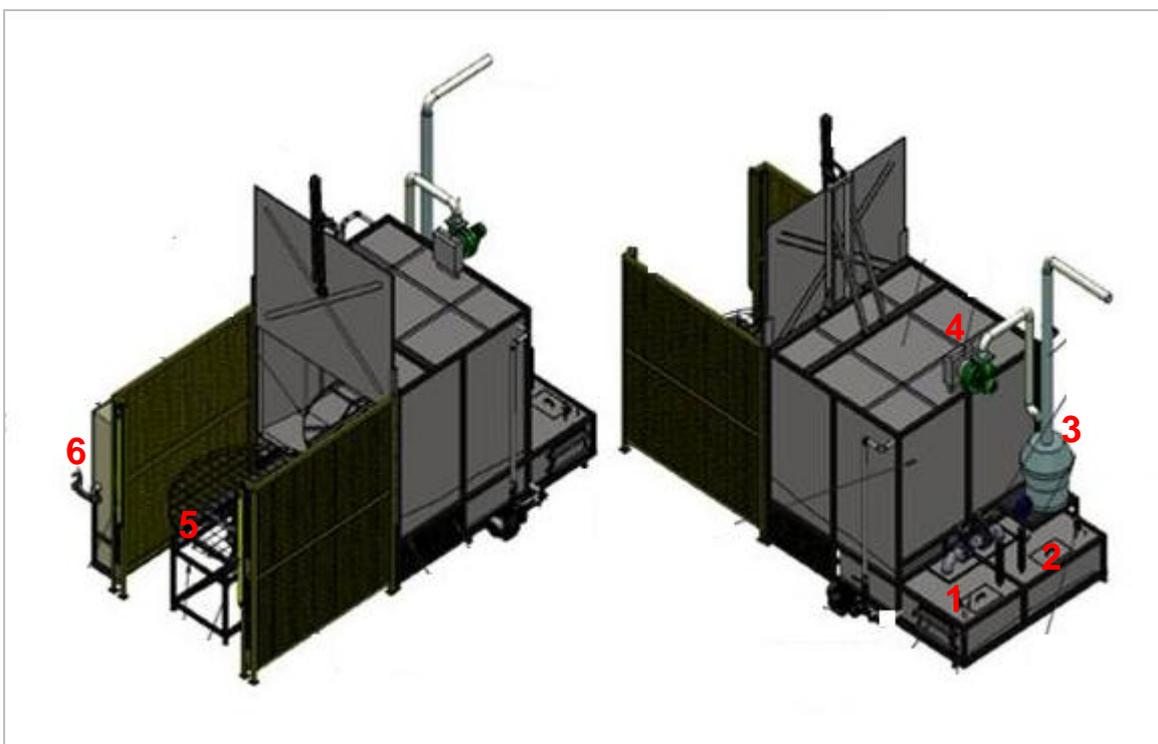


Figura 6 - Equipamento de limpeza de dispositivos
Fonte: Desenho cedido pela empresa

Os pontos 1 e 2 são os tanques de abastecimento água de enxágue e do produto de lavagem respectivamente, 3 é o sistema de lavagem de gases, 4 o sistema de exaustão de vapores, 5 o cesto onde são colocados os dispositivos e 6 o

painel elétrico. No sistema de lavagem de gases, a neutralização dos vapores alcalinos ocorre em contra fluxo da solução neutralizante, esta com volume de água de aproximadamente 40% da capacidade do reservatório e ácido clorídrico 32% na água até atingir o pH 3.

Para iniciar o procedimento de limpeza, é necessário carregar os dispositivos no cesto, transferir o cesto da mesa suporte externa para o suporte interno e fechar a porta da câmara. O processo começa com a lavagem em *spray* do decapante alcalino, depois enxágue com água do tanque e para finalizar enxágue com água da rede. Após os tempos de lavagens e dos enxágues, ocorre o dreno do líquido para seu respectivo tanque e sopro de ar comprimido. A água de enxágue vinda da rede também é drenada para o tanque acoplado, sendo assim a água de enxágue está sempre sendo renovada, já o produto dosado inicialmente fica recirculando até que seja necessário uma nova dosagem.

Para manuseio do produto, operação do equipamento e retirada dos dispositivos após a limpeza, é obrigatório que os colaboradores envolvidos estejam usando óculos com proteção lateral, máscara com filtro de vapores orgânicos, luva de PVC e blusa de manga longa. Na área onde foi instalado o equipamento o piso é impermeabilizado e há canaletas de contenção circundando o equipamento, também foi instalado um chuveiro e dispositivo lava olhos como forma de precaução.

3.2 PARÂMETROS DE DOSAGEM E OPERAÇÃO

Os parâmetros de operação do decapante e do equipamento para os testes para foram previamente definidos. Quando ao decapante, a indicação do fornecedor foi de dosagem entre 45% e 60% de produto, completando o restante do volume do tanque com água. Para tal foram dosados 400 quilos de produto e aproximadamente 400 litros de água no tanque. As temperaturas de operação do tanque da solução de produto e do tanque de enxágue de água foram definidas como 80 °C e 70 °C respectivamente, também por indicação do fornecedor.

Os tempos de *spray* do produto, da água de enxágue do tanque, da água de enxágue da rede, dreno e sopro de ar comprimido estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de ciclo de operação do equipamento

	Spray (min)	Dreno (min)	Sopro ar comprimido (min)
Solução decapante	25	5	4
Água tanque de enxágue	5	3	3
Água rede	5	1	5

Fonte: Aatoria própria

3.3 ESCOLHA DOS DISPOSITIVOS PARA TESTE

Os dispositivos utilizados nesta planta de pintura são manufacturados com aço 1045 sem têmpera, porém os dispositivos utilizados na fixação das portas entre os processos de vedação e inspeção também possuem um ímã que tem uma proteção de cromo. Além disso, os dispositivos de porta são os dispositivos de maior quantidade usados na planta e a área onde os defeitos podem ser gerados é considerada mais crítica em relação aos dispositivos de capô e porta-malas, portanto esses foram os dispositivos usados durante todos os testes realizados. Os dispositivos de porta utilizados na planta se dividem em dois modelos, cada modelo tendo um encaixe diferente para a porta dianteira e traseira. A Figura 7 a seguir, apresenta uma foto dos quatro tipos de dispositivos, modelo 1 porta dianteiro (1D), 1 traseiro (1T), 2 dianteiro (2D) e 2 traseiro (2T).



Figura 7 - Dispositivos 1D, 1T, 2D e 2T da esquerda para a direita
Fonte: Aatoria própria

3.4 TESTES PARA VALIDAÇÃO

Para iniciar os testes o cesto foi carregado com 148 dispositivos (Figura 8), e o equipamento iniciado realizando dois ciclos de limpeza seguidos. Após os dois ciclos, os dispositivos limpos foram contabilizados, tendo sido sessenta e nove completamente limpos. Esses dispositivos foram inspecionados para verificação da ocorrência de danos às superfícies e não tendo sido encontrado nenhum dano, alguns dispositivos foram retirados para realização do teste de cratera na cabine de pintura.



Figura 8 - Cesto carregado de dispositivos para decapagem
Fonte: Autoria própria

3.4.1 Teste de Cratera

Crateras são pequenos orifícios que surgem na superfície pintura durante ou logo após a aplicação da tinta, geralmente causadas pela existência de contaminação de óleos e gorduras e utilização inadequada de aditivos. Após o processo de cabine de pintura, a carroceria passa por uma estufa à temperatura de até 160 °C, e ao passar na estufa, ocasionais resíduos da solução decapante poderiam vaporizar-se, causando uma contaminação que poderia acarretar na geração de crateras.

Inicialmente, foi coletado um grupo de quatro dispositivos do modelo 1 do processo de limpeza interno e inseridos em uma carroceria, essa carroceria foi inspecionada após sair da estufa para verificação da possível geração de crateras nas soleiras das portas. Como não foi identificada nenhuma cratera nas soleiras da carroceria, no dia seguinte foram coletados mais dois grupos de quatro dispositivos, sendo um grupo de cada modelo, e inseridos em duas carrocerias para novo teste, novamente não foi identificada nenhuma cratera nas soleiras, e no dia posterior foi realizado mais um teste em seis carrocerias, sendo três carrocerias de cada modelo. Não foi identificada nenhuma cratera em nenhuma das soleiras das carrocerias,

assim o restante dos dispositivos limpos foi liberado para retornar à linha e o decapante liberado para realização de novos testes.

3.4.2 Exposição Intensificada ao Decapante

Após a liberação do decapante, deu-se início a novos ciclos de limpeza no equipamento para a realização de novos testes. Dentre os dispositivos limpos restantes do primeiro teste, três deles foram identificados e deixados no cesto por sete ciclos de limpeza seguidos, para uma exposição intensificada à solução decapante. Esses dispositivos, mostrados na Figura 9, foram inspecionados após os sete ciclos de limpeza e não apresentaram nenhum dano em sua estrutura.



Figura 9 - Dispositivos de exposição intensificada à solução decapante
Fonte: Autoria própria

3.4.3 Decapagem por Espessura de Camada

Nos dois primeiros ciclos pode ser observado que os dispositivos que apresentavam muitas camadas não sofreram a limpeza completa. Neste item, os

testes foram realizados com o intuito de avaliar até qual espessura de camada o decapante consegue limpar 100% da superfície do dispositivo em apenas um ciclo.

Foram escolhidos na linha de produção seis dispositivos – que aparentavam possuir diferentes quantidade de camadas – de cada um dos quatro modelos 1D, 1T, 2D e 2D, nos dispositivos do modelo 1 foram medidos pontos nas partes interna, externa e lateral e do modelo 2 nas partes externa e lateral externa. As áreas de medição estão descritas na Figura 10:



Figura 10 - Áreas de medição de camada nos dispositivos
Fonte: Autoria própria

As medições foram realizadas com um medidor de camada Elcometer calibrado modelo A456CFTS5 com sonda T456CF1S (Figura 11). Esses vinte e quatro dispositivos foram colocados no cesto no terceiro ciclo de limpeza juntamente com os dispositivos restante sujos dos ciclos um e dois, três dispositivos limpos e também foram carregados mais 110 dispositivos, totalizando 216 dispositivos no cesto. A partir deste momento, em todos os ciclos foram carregados diferentes quantidades de dispositivos, para que as análises sejam feitas simulando uma

condição real de funcionamento do processo de limpeza interna. Todas essas quantidades estão descritas no apêndice A deste trabalho.



Figura 11 - Medição espessura de camada na parte externa em dispositivo 1D
Fonte: Autoria própria

Os valores medidos em μm estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 - que apresentam dados de apenas alguns dispositivos para discussão, os dados completos encontram-se no apêndice B - assim como o resultado da limpeza da superfície, sendo “ok” quando 100% da área sofreu limpeza e “x” quando a limpeza foi parcial ou ineficiente. Todos os dados medidos foram organizados em ordem crescente, para melhor visualização da variação desses valores.

Tabela 2 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 1 (Resumo)

Stay nº	Modelo/área	Medição (μm)				Resultado
1	Externo	95,0	104	106	110	ok
	Interno	61,5	62,2	71,7	83,8	ok
	Lateral	189	204	228	232	ok
2	Externo	104	123	133	156	ok
	Interno	101	109	112	116	ok
	Lateral	281	312	333	335	x

(Continua)

(Continuação)							
Stay nº	Modelo/área		Medição (μm)				Resultado
9	1T	Externo	52,2	50,2	50,7	64,9	ok
		Interno	71,2	77,6	84,7	85,7	ok
		Lateral	159	180	184	218	ok
12	1T	Externo	82,8	85,5	93,2	95,8	ok
		Interno	106	118	127	135	ok
		Lateral	252	260	295	298	x

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 2 (Resumo)

Stay nº	Modelo/área		Medição (μm)				Resultado
2	2D	Externo	22,8	23,4	27,7		ok
		Lateral	234	251	295	321	x
7	2T	Externo	50,4	55,6	57,3		ok
		Lateral	197	234	252	263	x
11	2T	Externo	37,3	39,9	42,7		ok
		Lateral	126	152	158	168	ok

Fonte: Autoria própria

Como se pôde observar nas tabelas 2 e 3, as laterais dos dispositivos são as áreas possuem os mais altos valores de camada dentre os lados medidos, quando as laterais sofrem remoção completa do revestimento de pintura. O mesmo ocorre em todas as áreas do dispositivo, assim a partir deste momento todas as medições foram realizadas apenas nas laterais. Dentre os dispositivos medidos o dispositivo com maior valor de camada que sofreu remoção completa foi o dispositivo 1 do modelo 1, com valor máximo de 232 μm em sua lateral. Esse teste foi realizado para se ter uma referência de valores de camada, mas para agregar valor a essa informação, é necessário relacionar esses valores com a quantidade de vezes que um dispositivo poderia passar no processo de cabine de pintura até alcançar este valor, ou seja, a quantidade de vezes que um dispositivo poderia passar pelo processo e ser limpo em um único ciclo de limpeza.

3.4.3.1 Decapagem por número de camadas de revestimento no dispositivo

Para relacionar a camada com a quantidade de vezes que os dispositivos poderiam passar no processo e serem limpos em apenas um ciclo de limpeza foram selecionados oito dispositivos limpos do modelo 1 e oito do modelo 2, sendo quatro dianteiros e quatro traseiros de cada um deles e estes foram medidos zerados e inseridos em quatro carrocerias, duas com dispositivos do modelo 1 e duas do modelo 2, na entrada da cabine de pintura. Após a carroceria sair da estufa, os dispositivos foram retirados da carroceria, deixados resfriando a temperatura ambiente por aproximadamente vinte minutos e novamente medida a camada. As medições nos dispositivos limpos e dos dispositivos após aplicação de uma camada (*primer*, base e verniz) estão respectivamente nas Tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 – Medição da camada zero

Stay nº	Carroceria	Modelo	Medição lateral (µm)			
1	1	1D	0,2	0,8	1	1,2
2		1D	0	0,8	0,8	2,3
3		1T	0,1	0,5	1,3	1,9
4		1T	1	1,1	1,5	1,8
5	2	1D	0,1	0,8	0,8	2,6
6		1D	0,8	1,1	1,4	3,3
7		1T	0,3	0,3	1,9	3,3
8		1T	0,8	0,9	1,8	3,2
9	3	2D	0,1	0,6	0,9	1,6
10		2D	0,3	0,4	1,1	2,0
11		2T	0	0,4	0,8	1,8
12		2T	0,1	0,6	1,3	1,5
13	4	2D	0,7	1,1	1,9	2,4
14		2D	0,2	0,5	1,0	1,6
15		2T	0,3	0,7	1,2	1,4
16		2T	0,6	1,5	1,6	2,9

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Medição da camada 1

Stay nº	Carroceria	Modelo	Medição lateral (μm)					
1	1	1D	18,6	19,5	28,1	30,5	31,9	32,7
2		1D	22,3	29,8	33,5	34,1	34,4	35,1
3		1T	27,3	33,3	38,9	40,0	41,4	43,6
4		1T	25,9	30,8	34,2	35,5	36,5	36,8
5	2	1D	17,4	19,9	27,0	41	43,7	46,3
6		1D	22,7	27,0	30,0	38,1	39,1	44,1
7		1T	21,2	28,9	29,7	34,4	42,8	46,7
8		1T	22,3	28,4	32,8	35,7	42,7	46,9
9	3	2D	30,1	32,1	41,1	46,7	55,9	56,6
10		2D	34,2	41,5	46,5	45,1	53,2	55,8
11		2T	24,3	27,0	27,5	28,9	30,7	37,1
12		2T	27,1	32,2	36,4	37,3	44,5	46,1
13	4	2D	38,7	51,4	52,4	54,1	56,4	59,4
14		2D	39,8	42,3	45,1	48,4	57,6	59,6
15		2T	23,3	33,1	33,5	34,7	42,8	44,5
16		2T	25,0	25,8	27,0	27,1	38,5	43,1

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar a partir dos valores descritos nas tabelas, que mesmo dispositivos pintados controladamente na mesma carroceria possuem variação nos seus valores, não sendo possível assumir uma regra exata para a composição da espessura da camada em um dispositivo. Para uma melhor aproximação, o valor de 232 μm dividido por 46,9 e 59,6, os maiores valores de camada medidos nos dispositivos da tabela 5 para o modelo 1 e 2 respectivamente, obteve-se um fator de 4,9 para o modelo 1 e 3,9 para o modelo 2. Devido ao valor máximo da camada zero dos dispositivos não representarem nem 10% dos valores máximos de camada pintada, eles foram desconsiderados.

A partir desses valores, para validar a quantidade de camadas que um dispositivo poderia receber e ser completamente limpo em um ciclo, três grupos de dispositivos do modelo 1 foram inseridos em três carrocerias na entrada da cabine e retirados após a linha de inspeção, de modo que um grupo passasse 4, outro 5 e outro 6 vezes na cabine e também três grupos do modelo 2, de modo que um grupo recebesse 3, outro 4 e o último 5 camadas de pintura na cabine. O tempo entre os dispositivos serem inseridos na carroceria e sua retirada na linha de inspeção após a saída da estufa foi em média de duas horas e era necessário esperar os dispositivos esfriarem para que eles pudessem ser inseridos em outra carroceria, por isso para que os dispositivos fossem pintados com a quantidade de camadas citadas anteriormente foram necessários três dias, sendo assim os dispositivos foram inseridos no equipamento no ciclo de limpeza número 16. Os valores obtidos após pintura dos dispositivos, assim como o resultado da limpeza após o ciclo estão nas Tabelas 6 e 7 a seguir.

Tabela 6 - Limpeza por camada de dispositivo do modelo 1

Camada	Stay nº	Modelo	Medição lateral (µm)						Resultado
QUATRO	1	1D	69,5	80,1	81,6	112	112	121	Stay 100%
	2	1D	75,5	88,1	89,6	89,7	122	127	limpo
	3	1T	67	74,1	78,3	81,1	109	115	Stay 100%
	4	1T	85,9	90,4	91,9	99,9	114	122	limpo
CINCO	5	1D	119	121	140	141	158	176	Pequenos
	6	1D	117	120	122	128	165	186	vestígios nas bordas
	7	1T	117	118	122	143	161	163	Pequenos
	8	1T	113	117	136	154	155	164	vestígios nas bordas
SEIS	9	1D	155	156	183	196	230	255	Limpeza
	10	1D	142	151	177	180	243	249	incompleta
	11	1T	151	156	172	179	202	215	Pequenos
	12	1T	144	163	181	199	203	218	vestígios nas bordas

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – Limpeza por camada de dispositivo do modelo 2

Camada	Stay nº	Modelo	Medição lateral (μm)						Resultado
TRÊS	1	2D	115	116	127	131	152	155	Stay 100%
	2	2D	112	115	134	136	144	151	limpo
	3	2T	85,9	91,9	92,5	94,4	106	110	Stay 100%
	4	2T	79,7	88,4	90,7	103	108	111	limpo
QUATRO	5	2D	143	145	156	159	170	179	Pequenos vestígios nas bordas
	6	2D	144	151	152	156	182	186	Pequenos vestígios nas bordas
	7	2T	107	112	114	115	117	122	Stay 100%
	8	2T	107	108	108	111	124	127	limpo
CINCO	9	2D	187	196	212	223	250	289	Limpeza incompleta
	10	2D	216	226	243	245	260	268	Limpeza incompleta
	11	2T	132	141	144	153	167	175	Pequenos vestígios nas bordas
	12	2T	150	162	169	172	177	185	Pequenos vestígios nas bordas

Fonte: Autoria própria

Para as camadas quatro do modelo 1, três do modelo 2 e quatro do modelo 2 traseiro a limpeza foi completa, para as camadas cinco do modelo 1, quatro do modelo 2 dianteiro, seis do modelo 1 traseiro e cinco do modelo 2 traseiro, a limpeza deixou alguns pequenos vestígios nas bordas das laterais dos dispositivos, já para a camada seis do modelo 1 dianteiro e a camada cinco do modelo 2 dianteiro, os vestígios na lateral foram maiores, necessitando assim de voltarem ao equipamento para nova limpeza. Na Figura 12, do lado esquerdo é possível observar dispositivos com apenas pequenos vestígios na borda e do lado direito dispositivos que necessitam passar por um novo ciclo de limpeza.



Figura 12 - Dispositivos com limpeza incompleta

Fonte: Autoria própria

Destes testes pode-se observar que nos dispositivos com cinco camadas do modelo 1, com seis camadas do modelo 1 traseiro e com quatro e cinco camadas do modelo 2 traseiro, mesmo com valor de camada máximo menor que $232 \mu\text{m}$, os dispositivos não sofreram limpeza 100%, mas como mostra a figura 12, ficaram apenas pequenos vestígios em algumas áreas de borda e estes são facilmente retirados com o auxílio de uma espátula metálica, não sendo necessário o retorno para mais um ciclo de limpeza.

3.4.4 Monitoramento da Concentração do Banho

O último item para validação do decapante é a estabilidade da concentração da solução no tanque conforme os ciclos de lavagem. Após os dois primeiros ciclos de teste, estando a solução completamente homogeneizada foi coletada uma amostra de solução decapante do tanque. Após esse segundo ciclo foram disponibilizados dois colaboradores, que haviam sido previamente treinados quanto ao funcionamento do equipamento e também itens de segurança, para continuar realizando ciclos de limpeza. No total foram realizados 42 ciclos de limpeza até que

se fosse dado por encerrado os testes, foram retiradas amostras após os ciclos 2, 7, 12, 20, 24, 30, 36 e 42.

3.4.4.1 Cálculo da concentração das amostras

Para a análise da concentração do banho, primeiro foi necessário preparar e padronizar uma solução de ácido clorídrico 1M. Foi utilizado ácido clorídrico 33%, com massa molar 36,46 g/mol e densidade 1,15 g/cm³. Para preparar um litro de solução 1M, de acordo com a fórmula, $v = \frac{[(1M) \cdot (36,46g/mol) \cdot (1L)]}{[(0,33) \cdot (1,15g/cm^3)]}$, o volume necessário de ácido clorídrico é de 96,07 mL.

Para realizar a diluição um balão volumétrico de 1 L foi preenchido com água destilada até sua metade, em seguida foram medidos 90mL do ácido clorídrico comercial em uma proveta graduada de 150 mL e 6,1 mL em uma pipeta graduada de 10mL e transferidos para o balão, em seguida, o balão foi completado até o menisco de água destilada com o auxílio de uma pisseta.

Para verificar a concentração da solução preparada, com o auxílio de uma pipeta volumétrica 10 mL foi pipetado 1 mL da solução, transferido para um erlenmeyer de 250 mL, no qual foram adicionados 3 gotas de fenolftaleína e aproximadamente 50 mL de água destilada, a solução foi titulada com hidróxido de sódio 0,1M, solução original nesta concentração. Este procedimento foi realizado em triplicata e foram consumidos os valores de 9,7, 10 e 9,9 mL de NaOH 0,1 M, calculando-se assim, uma molaridade de 0,987 M. Devido ao fato desta ser uma análise de uma condição de um processo de limpeza e também às vidrarias disponíveis no laboratório para realização das análises, o valor encontrado pode ser considerado como 1M, para efeitos de cálculo da concentração.

Para a análise da concentração das amostras, foi pipetado 5 mL da solução do banho com uma pipeta de 10 mL e transferido para um erlenmeyer de 250 mL, no qual foram adicionados 50 mL de água destilada medida em uma proveta graduada de 150 mL e 3 gotas de fenolftaleína, a solução foi titulada com a solução preparada de ácido clorídrico em uma bureta graduada de 25 mL. A análise foi realizada em triplicata para cada uma das oito amostras, para obtenção da concentração o fator de multiplicação usado foi de 3,1847, os valores de volume e a concentração final estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado da % de concentração das amostras

Amostra	N ciclos	V1 (mL)	V2 (mL)	V3 (mL)	Média V (mL)	Concentração %
1	2	16,9	16,6	16,5	16,67	53,08
2	7	16,7	16,8	17	16,83	53,61
3	12	17,1	17,2	16,7	17,00	54,14
4	20	17,4	17,6	17,2	17,40	55,41
5	24	17,5	17,6	17,6	17,57	55,94
6	30	17,9	18,2	17,5	17,87	56,90
7	36	18,5	18,2	18,5	18,40	58,60
8	42	18,1	17,5	18,2	17,93	57,11

Fonte: Autoria própria

A partir desses valores foi gerado um gráfico, apresentado na Figura 13.

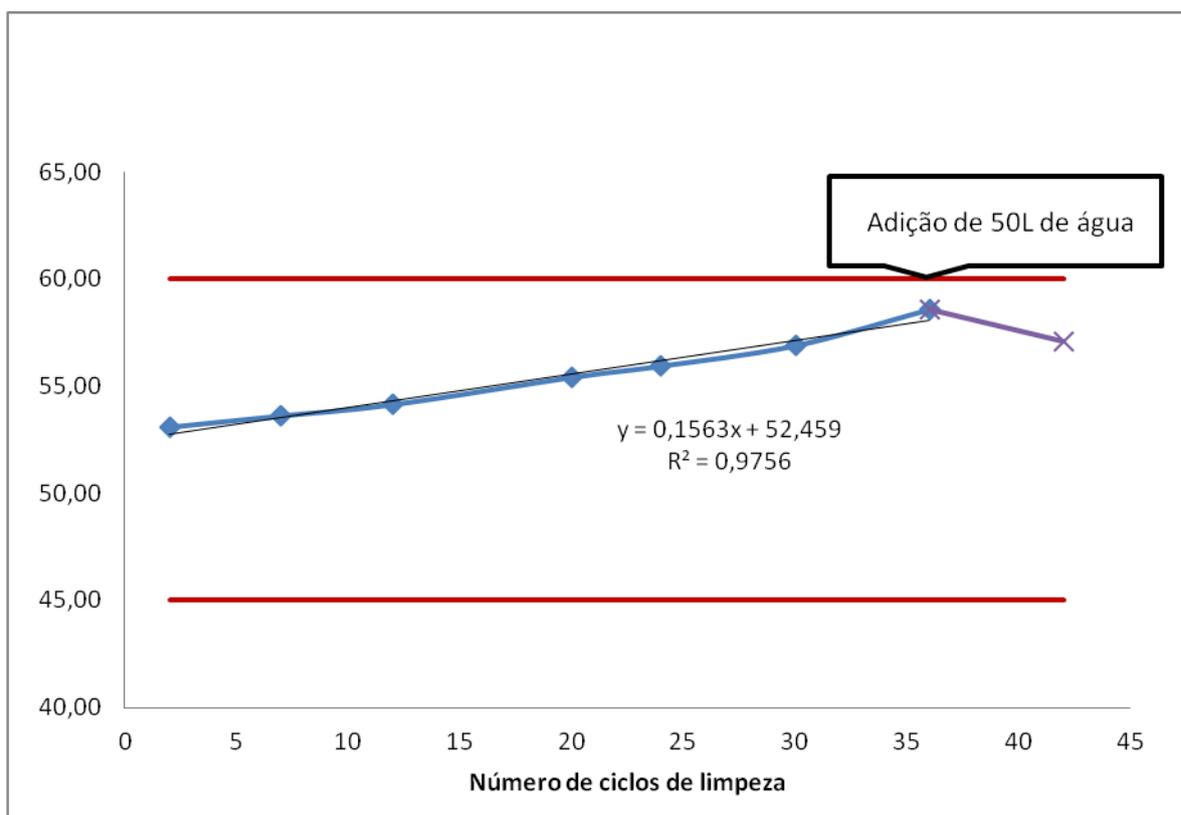


Figura 13 - Concentração em % de peso do produto decapante no banho

Fonte: Autoria própria

As análises eram realizadas no mesmo dia após a retirada da amostra do tanque, entre uma e duas horas após, para que a amostra fosse analisada a

temperatura de 25 °C, assim após a titulação realizada da amostra 7, a qual foi retirada após o ciclo 36, foi observado que o valor estava muito próximo a 60% de concentração, conforme citado no item 3.2 a concentração de trabalho indicada pelo fornecedor é entre 45% e 60% de concentração do produto, foi realizada a dosagem de aproximadamente 50 L de água. Após o ciclo 42, foi determinado o encerramento dos testes, pois o nível de volume de solução no tanque já havia baixado em mais de 25% do volume dosado inicialmente e a partir deste momento seria necessário uma dosagem de água e produto.

Pelo gráfico e pela temperatura de operação do tanque de produto fica evidente que este está perdendo água por evaporação. Também ocorreu aumento no nível de solução no reservatório de lavagem de gases e diminuição em mais de 25% do nível do volume de solução decapante dosada inicialmente, sendo assim é pode-se assumir que foram perdidos tanto água quanto produto da solução, no entanto água em maior quantidade.

4 DISCUSSÕES

O processo de decapagem química ocorre quando o decapante encontra pontos fracos no filme do revestimento de tinta, penetra por estes até chegar na superfície metálica (substrato) e a partir disso vai destruindo a adesão do filme com o substrato ao longo da superfície. Isso fica evidente em alguns dispositivos parcialmente limpos, no qual é possível retirar o filme com a mão sem aplicar esforço, segue alguns exemplos na Figura 14.



Figura 14 - Filmes de revestimento de tinta decapados
Fonte: Autoria própria

Na parte inferior da figura é possível ver algumas partes de revestimento decapados após limpeza. Esses filmes normalmente se soltam dentro do equipamento, mas também ocorre de em alguns dispositivos como nos casos acima, eles não se soltarem do dispositivo, mas sendo possível retirá-los manualmente sem uso de força.

Para a validação deste decapante alcalino foram definidos alguns critérios no início deste trabalho, sendo eles a não interferência de produto no processo de cabine de pintura, que foi avaliado no teste de cratera, nas carrocerias testadas não

foi gerada nenhuma cratera nas soleiras, e após a liberação do restante dos dispositivos limpos nos ciclos 1 e 2 e dos ciclos seguintes, não foram relatados problemas pelo time de inspeção.

Todos os dispositivos limpos antes de retornarem a linha eram inspecionados visualmente em busca de possíveis danos aos dispositivos e também não foram relatados problemas pelos colaboradores que ficaram responsáveis pelo carregamento e descarregamento dos dispositivos no equipamento, podendo assim considerar-se que o decapante não gera danos aos dispositivos.

Quanto aos testes de decapagem por quantidades de camada, no primeiro teste com os 24 dispositivos recolhidos da linha, o dispositivo com maior valor de camada que teve limpeza completa apresentou 232 μm , já no teste com a pintura dos dispositivos controlada, o maior valor de camada para limpeza completa foi 155 μm e nos dispositivos com camada máxima de 218 μm restaram pequenos vestígios em algumas áreas de borda. Isso pode ter ocorrido devido ao primeiro teste ter sido realizado no ciclo 2 e o segundo no ciclo 16, considerando que boa parte dos filmes decapados acabam sendo drenados para o tanque de produto, pode-se que presumir que o produto vai perdendo eficiência ao longo dos ciclos. Neste segundo teste, todos os dispositivos do modelo 2 com três camadas e do modelo 1 com quatro camadas sofreram limpeza completa, considerando isso pode-se supor que nos primeiros ciclos dispositivos com mais passagens pela cabine podem ser limpos em um único ciclo, e também que em ciclos posteriores estes mesmos dispositivos poderiam sair do equipamento com vestígios de tinta em suas bordas. Considerando que esses dispositivos são inseridos na entrada da linha de vedação e retirados após a linha de inspeção num processo que leva em torno de quatro horas e o ciclo de limpeza atual do equipamento é de aproximadamente uma hora, com um bom gerenciamento dos ciclos de decapagem, a eficiência de limpeza do decapante atende as necessidades do processo.

Quanto a concentração, é possível observar que as variações ao longo dos ciclos são moderadas, apenas 34 ciclos após a primeira amostra analisada, a concentração variou em mais de 10%.

5 CONCLUSÕES

Após todos os testes pode-se concluir que o decapante não interfere no processo de cabine de pintura, atende a necessidade de limpeza do processo de pintura sem danificar os dispositivos e não tem variações bruscas de concentração do produto na solução decapante, portanto este está validado para uso no equipamento de limpeza de dispositivos.

Como sugestão de testes que podem ser realizados, um deles seria a diminuição da temperatura do banho de solução decapante em busca da diminuição da taxa de evaporação de água do banho, de modo a que a dosagem inicial possa ser utilizada por mais ciclos sem a necessidade de nova dosagem e variação dos tempos de ciclo em busca de melhoria da eficiência do processo de limpeza.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2000.

BAIÃO, Vanessa I.C. **Remoção Química de Revestimentos Orgânicos em Aeronaves Militares - Estudo da Eficiência dos Decapantes Químicos à Base de Álcool Benzílico**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química Tecnológica - Universidade de Lisboa. Lisboa, 2016.

BEE, Fernando H. **Procedimento para gestão e determinação de requisitos técnicos de dispositivos do processo industrial de uma indústria automobilística**. 2015. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

DOMINGUES, Dina F. **Otimização do processo de decapagem química numa empresa de produção de perfis de aço**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2015.

DRUMOND, Thiago A.P. **Aplicação de técnicas de produção sustentável no processo de pintura automotiva**. 2013. 180 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

FATHIL, Muhammad F.B.M. **Painting process improvement for automotive industry**. 2008. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica com Engenharia Automotiva) - Universidade Malaysia Pahang. Pahang, 2008.

FETTIS, G. **Automotive paints and coatings**. 1. Ed. Weinheim, VCH, 1995. 243 p.

FREMONT'S. **Choosing a Strip Method**. Disponível em <<http://infohouse.p2ric.org/ref/31/30516.pdf>> Acesso em 05 Out. 2018.

OLIVEIRA, Luiz F.B. **Otimização do processo de automatização da decapagem química numa indústria de trefilaria**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão Industrial – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2017.

PIEROZAN, Leonardo. **Estabilização de processos: um estudo de caso no setor de pintura automotiva**. 2001. 121 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia – Ênfase Gerência de Produção e Ergonomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

SAFETY KLEEN. **Paint stripping and removal methods**. Disponível em : <<https://www.safetykleen.eu/docs/default-source/white-papers/safetykleen-paint-stripping-and-removal-methods-white-paper.pdf?sfvrsn=2&sfvrsn=2>> Acesso em 08 Out. 2018.

STRATEGIC ENVIRONMENTAL RESEARCH AND DEVELOPMENT PROGRAM – SERDP. **Understanding the Science Behind How Methylenechloride / Phenolic Chemical Paint Strippers Remove Coatings**. Arlington, 2007.

TREVIZAN, João P.G. **Melhoria contínua da qualidade no processo de pintura automotiva**. 2013. 26 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

UNITED STATES AIR FORCE – USAF. **Technical Manual – Application and Removal of Organic Coatings, Aerospace and Non-aerospace Equipment**. Washington, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. **Manual – Pollution Prevention in the Paints and Coatings Industry**. Cincinnati, 1996.

WOLLBRINCK, Thomas. The composition of proprietary paint strippers. **Journal of the American Institute for Conservation**, Online v. 32, n. 1, p. 43-57, 1993.

ZAROGIANNIS, Panos et al. **Impact Assessment of Potential Restrictions on the Marketing and Use of Dichloromethane in Paint Strippers**. Norfolk, 2007.

APÊNDICE A

Tabela 9 - Quantidade de dispositivos carregados em cada ciclo de limpeza

					(Continua)
Ciclo	1D	1T	2D	2T	TOTAL
1 e 2	Apenas foi contabilizado o total				148
3	116	52	20	28	216
4	58	32	0	6	96
5	84	34	36	20	174
6	61	25	26	13	125
7	55	43	35	39	172
8	42	38	19	23	122
9	30	28	15	20	93
10	124	73	57	82	336
11	68	60	47	60	235
12	139	84	50	60	333
13	157	94	54	49	354
14	157	105	64	68	394
15	168	143	79	85	475
16	102	116	52	46	316
17	57	96	44	35	232
18	138	169	65	63	435
19	101	110	35	27	273
20	133	114	47	47	341
21	74	99	37	23	233
22	114	131	59	46	350
23	110	157	45	50	362
24	90	131	25	11	257
25	112	102	24	25	263
26	77	139	32	7	255
27	113	144	16	10	283
28	51	104	8	10	173
29	90	117	45	48	300
30	48	80	24	18	170
31	105	107	43	54	309
32	50	70	33	16	169
33	39	60	29	13	141
34	35	29	23	18	105
35	68	50	44	45	207
36	156	120	79	62	417
37	216	146	73	57	492
38	204	144	74	72	494
39	211	136	88	49	484

(Continuação)					
Ciclo	1D	1T	2D	2T	TOTAL
40	180	142	90	55	467
41	120	115	78	60	373
42	197	135	79	79	490

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B

Tabela 10 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 1 (Completo)

(Continua)							
Stay nº	Modelo/área	Medição (µm)					Resultado
1	1D	Externo	95,0	104	106	110	ok
		Interno	61,5	62,2	71,7	83,8	ok
		Lateral	189	204	228	232	ok
2	1D	Externo	104	123	133	156	ok
		Interno	101	109	112	116	ok
		Lateral	281	312	333	335	x
3	1D	Externo	38,2	49,9	50,3	56	ok
		Interno	27,6	31,4	32,9	34,6	ok
		Lateral	103	117	128	132	ok
4	1D	Externo	32,5	40,1	46,6	47,6	ok
		Interno	25,8	30,3	31,1	33,3	ok
		Lateral	85,1	95,0	96,2	110	ok
5	1D	Externo	208	224	247	278	x
		Interno	101	109	117	119	ok
		Lateral	330	348	359	401	x
6	1D	Externo	267	279	291	311	x
		Interno	248	255	260	267	x
		Lateral	357	382	394	423	x
7	1T	Externo	68,3	71,9	85,6	96,0	ok
		Interno	111	210	126	140	ok
		Lateral	234	253	262	281	x
8	1T	Externo	19,1	21,6	28,6	28,9	ok
		Interno	26,4	28,9	29,7	31,2	ok
		Lateral	55,8	62,6	66,8	84,3	ok
9	1T	Externo	52,2	50,2	50,7	64,9	ok
		Interno	71,2	77,6	84,7	85,7	ok
		Lateral	159	180	184	218	ok

							(Continuação)
Stay nº	Modelo/área		Medição (µm)				Resultado
10	1T	Externo	229	272	298	320	x
		Interno	416	518	536	595	x
		Lateral	717	727	751	795	x
11	1T	Externo	78,5	79,9	89,6	98,9	ok
		Interno	101	111	113	120	ok
		Lateral	245	286	303	310	x
12	1T	Externo	82,8	85,5	93,2	95,8	ok
		Interno	106	118	127	135	ok
		Lateral	252	260	295	298	x

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Espessura e resultado de limpeza dos dispositivos modelo 2 – (Completo)
(Continua)

Stay nº	Modelo/área		Medição (µm)				Resultado
1	2D	Externo	33,2	39,3	41,0		ok
		Lateral	250	281	340	358	x
2	2D	Externo	22,8	23,4	27,7		ok
		Lateral	234	251	295	321	x
3	2D	Externo	44,5	48,0	53,2		ok
		Lateral	343	406	407	410	x
4	2D	Externo	42,4	50,6	53,1		ok
		Lateral	305	354	355	375	x
5	2D	Externo	12,3	13,1	14,7		ok
		Lateral	50,7	51,4	54,9	55,8	ok
6	2D	Externo	50,1	53,1	59,6		ok
		Lateral	360	411	444	465	x
7	2T	Externo	50,4	55,6	57,3		ok
		Lateral	197	234	252	263	x
8	2T	Externo	102	106	115		ok
		Lateral	433	460	464	478	x
9	2T	Externo	122	130	136		ok
		Lateral	462	478	521	552	x

(Continuação)							
Stay nº	Modelo/área	Medição (µm)					Resultado
10	2T	Externo	157	188	200		x
		Lateral	492	503	552	561	x
11	2T	Externo	37,3	39,9	42,7		ok
		Lateral	126	152	158	168	ok
12	2T	Externo	29,8	30,0	34,2		ok
		Lateral	90,6	109	118	120	ok

Fonte: Autoria própria